



**Uso de polímeros para la construcción de vías, una alternativa innovadora para la
Ingeniería Colombiana**

Ensayo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Presentado por:

Oscar Villota Bravo
Código: d7303080

Asesor metodológico:

Ing. Jaime Orlando Lizarazo Godoy

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de estudios a distancia

Programa de Ingeniería civil

BOGOTÁ D.C.

2021

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	1
Abstract	3
Introducción	5
1. Los polímeros y sus generalidades	6
2. Estabilización de suelos a base de polímeros	9
3. Capas de rodadura para pavimentos a base de polímeros	19
Conclusiones	23
Bibliografía	25

Resumen

A nivel nacional se han venido desarrollando diversos proyectos de infraestructura, donde se han ejecutado vías a cielo abierto y excavaciones subterráneas, las cuales, de acuerdo a las necesidades y especificaciones técnicas del proyecto, se han construido con pavimentos rígidos y pavimentos flexibles, mostrando avances significativos en términos económicos en materia de movilidad a nivel nacional, sin embargo, los insumos utilizados para los diseños de mezcla y estructuras de soporte, no han mostrado grandes variaciones respecto a lo que naturalmente se ha venido manejando a nivel internacional, situación que se debe tener en cuenta a la hora de mirar los avances de la ciencia, aquellos que se enfocan en continuar con el desarrollo e innovación a nivel mundial, pero, a su vez, tienen como objetivo reducir el impacto ambiental que genera la construcción, tanto por las malas prácticas constructivas, como por el empleo de materiales perjudiciales para el medio ambiente.

Día tras día la contaminación aumenta y ahora la necesidad no radica solo en generar desarrollo, sino más bien, en orientar el desarrollo hacia la preservación del medio ambiente, donde el calentamiento global, producto de la huella del carbono por emisiones de gases efecto invernadero y el consumo de energías no renovables, han sido hechos representativos para concluir que el cambio, es ahora, el cual, se debe desarrollar en todos los sectores de la industria, a fines de mitigar el impacto negativo sobre el medio ambiente. Sumado a lo anterior, también es necesario tener en cuenta la mala disposición final que se le da a residuos sólidos como plástico de diversas densidades y neumáticos de vehículos, aquellos que serán parte objeto de estudio para el presente escrito, ya que, muchos de éstos,

son de gran utilidad para un segundo uso en la Ingeniería, siendo esenciales para la estabilización de suelos y para el diseño de pavimentos, tanto rígidos, como flexibles, representando un avance significativo debido a la reducción que tendría el uso de materiales pétreos en las mezclas de concreto hidráulico y asfáltico. No solo se trata de cambiar los hábitos operativos dentro de la industria de la construcción, sino también, de reutilizar aquellos materiales que, al quedar expuestos ante el medio ambiente debido a su mala disposición final, producen altos índices de contaminación. Es evidente que lo ideal sería reducir la fabricación de materiales con un alto potencial contaminante, pero en vista de la necesidad de estos para la población, la alternativa más idónea sería el aprovechamiento de estos en la Ingeniería, incluso, después de su vida útil.

Palabras clave: sondeo, polímeros, gases efecto invernadero

Abstract

At the national level, various infrastructure projects have been developed, where open pit roads and underground excavations have been executed, which, according to the needs and technical specifications of the project, have been built with rigid pavements and flexible pavements, showing progress significant in economic terms in terms of mobility at the national level, however, the inputs used for the mix designs and support structures have not shown great variations with respect to what has naturally been handled at the international level, a situation that must take into account when looking at the advances in science, those that focus on continuing with development and innovation worldwide, but, in turn, aim to reduce the environmental impact generated by construction, both by bad construction practices, such as the use of materials that are harmful to the environment.

Day after day pollution increases and now the need does not lie only in generating development, but rather, in guiding development towards the preservation of the environment, where global warming, a product of the carbon footprint due to greenhouse gas emissions and The consumption of non-renewable energies, have been representative facts to conclude that the change is now, which must be developed in all sectors of the industry, in order to mitigate the negative impact on the environment. In addition to the above, it is also necessary to take into account the poor final disposal that is given to solid waste such as plastic of different densities and vehicle tires, those that will be part of the study for this writing, since many of these , are very useful for a second use in Engineering, being essential for the stabilization of soils and for the design of pavements, both rigid and flexible, representing a significant advance due to the reduction that the use of stone

materials would have in the mixtures of hydraulic and asphalt concrete. It is not only about changing operating habits within the construction industry, but also about reusing those materials that, when exposed to the environment due to their poor final disposal, produce high levels of contamination. It is evident that the ideal would be to reduce the manufacture of materials with a high polluting potential, but in view of the need for these for the population, the most suitable alternative would be to use them in Engineering, even after their useful life.

Keywords: survey, polymers, greenhouse gases

Introducción

Siendo los materiales poliméricos una alternativa innovadora para la estabilización de terrenos y construcción de vías a nivel mundial, ¿Qué tipo de polímeros se pueden emplear en Colombia de acuerdo a sus necesidades en materia económica y ambiental? Pues bueno, inicialmente se debe resaltar que los materiales poliméricos se emplean para múltiples procesos industriales dentro de una amplia gama de producción y mejoramiento de materiales, donde la Ingeniería civil interviene con diversas metodologías, mediante las cuales se busca mejorar las propiedades mecánicas de los materiales y/o de los suelos, para el caso del mejoramiento de terrenos para la construcción de vías y la estabilización de taludes.

El siglo XXI ha sido determinante para la puesta en marcha de nuevos procesos y metodologías constructivas en la rama de la construcción, lo cual se refleja en los avances que han tenido diferentes países en el mundo, poniendo a prueba, según sus necesidades, diversas técnicas y empleo de materiales alternativos para el tratamiento de los suelos y la construcción de vías. De acuerdo a lo anterior, a continuación, se hará un sondeo documental entre diversas investigaciones que se han llevado a cabo sobre los diferentes países en el mundo que han puesto a prueba el uso de polímeros para la estabilización de suelos y diseños de pavimentos viales, todo ello, a fines de conocer el alcance de estos a nivel mundial y, de ese modo, identificar los más adecuados para Colombia

Objetivos

Objetivo general

Conocer el alcance que han tenido los materiales poliméricos a nivel mundial

Objetivo específico

Identificar el tipo de polímeros que más se ajusten a las necesidades de la República de Colombia

1. Los polímeros y sus generalidades

Los polímeros, presentes en gran cantidad de accesorios para múltiples usos a nivel mundial, han ido formando parte de nuestro entorno, siendo unidades que, gracias a sus cualidades mecánicas y su alto peso molecular, en la actualidad han sido incluidos como materiales para la construcción; sus propiedades lo han destacado como una adición liviana, resistente al impacto, a la humedad, ácidos y sustancias alcalinas (Murcia & Pinzón, 2020). Se le denomina polímero debido a que es una macromolécula de masa molecular, conformada, básicamente, por la repetición múltiple de unidades derivadas de otras moléculas, las cuales, se conocen como monómeros, unidades también compuestas por moléculas aún más pequeñas; la consolidación de un polímero a través de monómeros, se conoce como polimerización (Flores & Isac, 2012).

Los polímeros aportan gran utilidad a la industria en todo el planeta, representando el 5% del uso total anual del petróleo y gas empleado para la producción de plástico, cuantificados porcentualmente de la siguiente manera (Liñán, 2018):

- Materiales para empaque en general 36%
- Construcción de edificaciones 16%
- Fabricación de textiles 14,5%
- Consumo en productos y bebidas 10-3%
- Transportación 6,6%
- Artículos eléctricos, electrónicos y para medicina 4,4%
- Maquinaria industrial 0,7%
- Otros usos 11,5%

Dado lo anterior, es evidente como las unidades poliméricas están presentes en muchos procesos industriales para la elaboración de múltiples materiales, situación que compromete a la industria que aún no hace uso de estos y los exhorta a entrar en relación e iniciar un proceso de innovación y aporte ambiental a través de su actividad económica. Los polímeros poseen cualidades polivalentes, ofreciendo un amplio margen de industrialización haciendo uso de diversos materiales, como: desechos de plástico de diferentes densidades, caucho, PVC, derivados de los mismos, entre otros, así mismo, materias primas como el tanino y el petróleo. Los materiales poliméricos traen consigo una gran variedad de beneficios a diferentes escalas y hacia diferentes sectores de la industria y órganos encargados del medio ambiente; uno de los beneficios más sobresalientes y quizás el más importante, es la preservación del medio ambiente, lo cual se logra a partir del aprovechamiento de elementos que ya han cumplido su vida útil, pero, aun así, contienen propiedades especiales en su composición, lo cual hace de estos, elementos contaminantes durante muchos años, pues las malas prácticas no permiten que se desarrolle una disciplina ambiental que permita controlar de manera adecuada la disposición final de los desechos

sólidos, es por ello que el aprovechamiento de éstos representa para la industria un doble aporte mediante un solo ejercicio, aquel que ofrezca alternativas en términos de utilidad y, a su vez, evite procesos industriales nocivos para el medio ambiente.

En términos de infraestructura vial, con la utilización de polímeros para la construcción de carreteras se pueden variar los diseños y reducir el consumo de áridos, mejorando el comportamiento estructural de las vías, bien sea que se empleen los polímeros sobre las estructuras de soporte, como lo son la subrasante, la subbase, la base, o sobre la capa final de rodadura. A continuación, se nombra el uso de polímeros sobre algunas estructuras, las cuales, se han intervenido mecánicamente y han arrojado buenos resultados, tanto estructurales como arquitectónicos, pues las geo-mallas también son de gran utilidad para la estabilización y empradización de taludes y vías, una muestra visible de la polivalencia de los polímeros en la infraestructura vial a nivel mundial.

- **Polímeros para la conformación de las capas de soporte del suelo a pavimentar**
- **Polímeros para la construcción de pavimentos rígidos (Concreto polimérico)**
- **Polímeros para la construcción de pavimentos flexibles (Asfalto a base de resinas polimerizadas)**
- **Polímeros para la estabilización de taludes y terraplenes**

A fines de evaluar la influencia de los polímeros en la construcción de vías, a continuación, se detallan una serie de investigaciones y procesos industriales que han vinculado los polímeros con diferentes materiales, a fines de mejorar la calidad de los productos y crear nuevos insumos que aporten en materia estructural y ambiental a la hora de construir carreteras y demás proyectos de infraestructura relacionados. Los polímeros en

la actualidad están inmersos en muchos procesos experimentales que con el pasar del tiempo han ido arrojando resultados satisfactorios, consolidándose paulatinamente en el mercado y siendo pieza fundamental para la ciencia, aquella que ha sacado provecho de éstos y ha permitido un paso tecnológico importante.

2. Estabilización de suelos a base de polímeros

Para la construcción de vías pavimentadas, sean de tipo rígido o flexible, es necesario mirar, antes que nada, las estructuras de soporte para la carpeta de rodadura, evaluando subrasante, capas de subbase y base granular, de tal modo que se pueda garantizar un buen comportamiento estructural de la vía al ser puesta en servicio y sometida a las cargas vehiculares para la cual haya sido diseñada. Un pavimento con deficiencias en su estructura de soporte, refleja los daños en la capa de rodadura, bien sea a través del hundimiento de placas, grietas sobre las mismas, baches sectorizados u ondulaciones prolongadas en el asfalto, fiel reflejo, como ya se mencionó, de una estructura de soporte insuficiente frente a las solicitaciones del tráfico. Es por eso que un pavimento de buenas prestaciones debe contener cualidades estructurales que le permitan cumplir con el período de diseño, ofreciendo un buen servicio a los usuarios mediante vías de calidad a través del tiempo.

Dado lo anterior, se puntualiza que en el mundo se emplean diversos sistemas y/o procesos para la estabilización de suelos, que, a la fecha, han arrojado buenos resultados en términos estructurales mediante estabilización mecánica, también a través de aditivos químicos que aportan propiedades fisicoquímicas al suelo, así mismo el empleo de

geotextiles y geo-sintéticos y, quizás la más conocida, como lo es la adición de cal al material de subrasante y cemento sobre la base granular; por parte de la cal, se ha evidenciado que reduce la humedad natural sobre la subrasante, modifica la granulometría, reduce el índice de plasticidad, el potencial de cambio volumétrico y también tiene la ventaja de modificar las características de compactación, mientras que, por parte del vínculo suelo-cemento, se destaca la obtención de altas densidades, resistencia a los esfuerzos de compresión, baja permeabilidad, capacidad termoaislante y endurecimiento efectivo, aspectos sobresalientes para los intereses geotécnicos y sin duda alguna, una serie de cambios que mejoran las cualidades del suelo, pero, de acuerdo al uso de polímeros para mejorar las propiedades de la subrasante, estos hallazgos no han sido menos importantes, ya que, teniendo en cuenta que el comportamiento de las arcillas depende de la humedad de la misma, la influencia de los polímeros sobre estas genera un cambio o mejora sustancial, pues aunque no aumenta las condiciones de resistencia, si tiene la capacidad de reducir la expansión de los suelos naturales en arcilla hasta en un 40%, factor esencial para evitar los cambios volumétricos y, por ende, daños estructurales en las carreteras, aspecto que deja en evidencia las ventajas en términos estructurales y económicos que ofrece el uso de polímeros para la estabilización de un suelo (Rodríguez & Gonzalez, 2018).

Es importante tener en cuenta que el conglomerado de materiales poliméricos termoplásticos es extenso, tanto así, que el consumo total de estos en el mundo, alcanza valores hasta del 80% y entre los principales está el polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS) y los poliuretanos; de estos polímeros termoplásticos, el polietileno es el de mayor uso en el mundo, ya que sus cualidades mecánicas le permiten moldearse de diversas formas, mientras que el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno

y los poliuretanos, contienen cualidades especiales que, aunque no son de tanta demanda como el polipropileno, también son muy usados por la sociedad (López-Lara, Hernández-Zaragoza, Horta-Rangel, Marquez, & Castaño-Meneses, 2010)

En India, un país con características especiales en la superficie, también se han adoptado metodologías que le han permitido mejorar las condiciones del suelo, ya que es una nación que contiene suelos expansivos que abarcan aproximadamente el 20% del territorio nacional y que dificultan de manera progresiva la construcción de vías, ferrocarriles, aeropistas, entre otras estructuras destinadas para el transporte terrestre. En esta nación, la inseguridad que transmiten los suelos expansivos ha creado la necesidad de realizar estudios y emplear alternativas como el uso de EPS geofam, también conocido como poliestireno expandido, el cual se emplea sobre la subrasante para estabilizar mecánicamente la misma, controlando las presiones de hinchamiento; básicamente el hinchamiento del suelo corresponde a la saturación de las arcillas cuando entran en contacto con el agua, siendo el hinchamiento inversamente proporcional respecto a la cantidad de EPS geofam que se instale, ya que, a más cantidad o espesor del termoplástico, menor es la presión de hinchamiento que se desarrolla en el suelo (Shelke & Murty, 2011)

Los buenos resultados que se han evidenciado tras el empleo de polímeros para la rehabilitación, mejoramiento y construcción de vías terrestres, han sido fundamentales para extender el uso de estos a más países, entre los cuales se encuentra Perú, nación con un buen desarrollo vial, pero que también tiene la necesidad de poner a prueba de una manera más constante el uso de polímeros para la modificación de partículas de suelo que hacen parte de las capas de soporte, esto, mediante equipos especializados de laboratorio, a fines de mejorar la tecnología de los pavimentos asfálticos y de ese modo se pueda lograr un

mejor desempeño de las vías, cuya falencia más común, ha sido la deformación localizada sobre la capa de rodadura con un ahuellamiento notable, fenómeno que ha sido constante en los pavimentos de diversos países y que atenta directamente contra la calidad y el buen servicio para el usuario; dicha situación ha obligado a la ingeniería peruana a contemplar el uso de polímeros, polvo de caucho y la puesta en marcha de tecnologías como el método SUPERPAVE, a través del cual se identifica el grado de desempeño de los asfaltos, siendo carente la evaluación de los mismos mediante el grado de penetración (Guerrero & Albitres, 2010).

Una vía con alteraciones estructurales conlleva a un impacto socioeconómico de gran magnitud. No se debe dejar de lado que la economía de las naciones está regida por su sistema de transporte y de nada sirve asignar altos presupuestos para la infraestructura si ésta no se desarrolla al paso de la globalización, la cual ofrece nuevos sistemas tecnológicos en aras de mejora en todas las escalas industriales, y la ingeniería no ha sido ajena a la innovación en sus diversas ramas. Del estudio sobre los polímeros aún queda mucho por determinar, ya que de éstos se pueden formar dos tipos, donde prevalece el tipo de monómeros que se vinculen entre sí, arrojando resultados donde se pueden clasificar como homopolímeros y copolímeros; los homopolímeros son el producto de la unión entre monómeros de un solo tipo u origen, mientras que, los copolímeros, se caracterizan por estar formados por monómeros de distintos tipos sobre la misma cadena polimérica. Este tipo de copolímeros también se aplican sobre la subrasante para componer suelos aglutinantes y brindar soporte estructural a las capas que anteceden la superficie de rodadura, bien sea de tipo rígido o las de tipo flexible, reemplazando las combinaciones suelo-cemento, aquella que ha desarrollado buenos comportamientos, pero que, a su vez, se

busca mejorar a fines de preservación ambiental de los ecosistemas, y esta cualidad la poseen los copolímeros, como también se busca el grado de adaptación que se requiere de acuerdo a la composición del suelo, la cual puede ser aniónica, catiónica o neutra; estas composiciones poseen contenidos de cloruro de sodio, acrilamida, acrilato de sodio, entre otras acrilamidas de origen amoniaco, y se emplean a través de un sistema multicapa con la finalidad de generar un comportamiento óptimo en el pavimento, para este caso, asfáltico/flexible (Hanley, Masad, Iyengar, Rodríguez, & Bazzi, 2016).

A medida que se van evaluando los diversos tipos de polímeros que existen y su utilidad para la construcción de carreteras, así mismo se puede ir perfilando el más adecuado frente a las necesidades que se tienen en Colombia, es por ello que vale la pena identificar la utilidad que también poseen los lodos aceitosos estabilizadores, los cuales son conformados por residuos resultantes de la extracción de petróleo. Este sistema se puntualiza debido a que en Colombia se realiza extracción de petróleo en diversos puntos del país, lo cual le da continuidad al objetivo de aprovechar residuos contaminantes, los cuales, con un buen manejo, pasarían a ser de gran utilidad para la estabilización de suelos; a pesar de que los lodos son tratados con Biorremediación, a fines de reducir la acción de los residuos peligrosos presentes en las partículas de suelo, la cantidad de lodos aceitosos a tratar durante el año es de gran magnitud, situación que ha generado la creación de nuevas metodologías y proyectos para una disposición final adecuada, y una de ellas, corresponde al uso de estos lodos para la construcción de carreteras, más exactamente, el mejoramiento de las capas de soporte. Dado que no se contaba con diseños establecidos según norma, se ha logrado identificar mediante procesos experimentales que la influencia de los lodos aceitosos sobre la subrasante es de gran aporte en términos de resistencia, plasticidad,

densidad, ascensión capilar y estabilidad hídrica, condiciones necesarias para mejorar el comportamiento de la estructura de soporte de una vía, con tan solo un 6% de adición de lodos al suelo inalterado (Alarcón, Jiménez, & Benítez, 2020).

La composición de polímeros a base de diversos residuos ofrece un sinnúmero de alternativas que permiten realizar ajustes en función del entorno para el cual se pretendan, y aunque solo se han evaluado los polímeros para la estabilización de suelos o estructuras de soporte para pavimentos, faltando aun los especiales para el diseño de las capas de rodadura rígidas y flexibles, el neumático picado y el plástico en sus diferentes densidades, son las unidades poliméricas que más se ajustan a las necesidades del país en términos ingenieriles, ya que han mostrado mejor desempeño en materia estructural y ambiental, pues según el análisis sobre los lodos aceitosos, no se puede descartar que el empleo de estos para la construcción de vías sea un elemento de justificación para continuar con la extracción desmedida del hidrocarburo no renovable, un aspecto preocupante y negativo para el medio ambiente. La polimerización a base de neumático picado y plástico, no solo es ideal para la infraestructura vial colombiana, sino también, para ser empleada en todo el planeta, ya que la reducción de residuos sólidos y el aprovechamiento de los neumáticos usados, son una necesidad de todas las naciones, donde, algunas más que otras, tienen dentro de sus objetivos principales, la mitigación de impactos negativos al medio ambiente, y que mejor que el empleo de materiales desechados para la construcción de vías, sin olvidar que para la estabilización de taludes, los polímeros también tienen muy buen desempeño, lo cual genera un complemento para la infraestructura vial, a través de geo-mallas, geotextiles, entre otros geo-productos que aportan a la estabilidad y durabilidad de terrenos,

controlando la erosión, brindando fijación para la capa vegetal, en caso de empradización sobre taludes o terrenos con pendientes considerables.

La estabilización de taludes, como bien se nombró anteriormente, es parte fundamental para el buen desempeño de la infraestructura vial. El buen manejo de estos conlleva a buenos resultados en materia de seguridad, componente ambiental y, por ende, la consolidación de proyectos sostenibles, aspecto que refleja la responsabilidad social de una nación. Es por ello que se resaltan los logros obtenidos por docentes y estudiantes de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, quienes, en su afán de sacarle provecho a diversos materiales biodegradables derivados de procesos agroindustriales, elaboraron manta biodegradable para sostenimiento de taludes, resultado de la primera experiencia investigativa en el departamento de Boyacá, la cual fue desarrollada a base de residuos agrícolas, logrando así, una geo-manta con características amigables con el medio ambiente, aportando también al margen económico para la adquisición del geo-producto (Solano, Sepúlveda, & Aranguren, 2014).

Continuando con el tema referente a la estabilización de taludes mediante procesos de polimerización, también existe el sistema constructivo mediante geo-sintéticos, cuyo objetivo es reforzar el terreno a través de armaduras estructurales, las cuales anclan la película sintética, bien sea geotextil tejido o geo-malla, al terreno, distribuyendo los esfuerzos a lo largo de la altura del mismo; este sistema tiene como característica especial la interacción continua entre el geo-sintético y las capas de suelo granular que se encuentran en el sitio de obra, dicho vínculo permite la consolidación de la estructura de una manera uniforme, lo cual evita la erosión y permite la estabilidad del terreno en toda el área de instalación del geo-sintético; así mismo, se puntualiza la gran eficiencia que tiene el

uso de estos materiales poliméricos sobre taludes y/o terraplenes a tratar, puesto que, poseen la cualidad de trabajar en conjunto con los suelos locales, es decir que, en materia de costos, resulta económico optar por el empleo de este tipo de geo-sintéticos, evitando la compra de materiales y minimizando tiempos de ejecución por el acceso directo al material, factores esenciales para tener en cuenta este tipo de estabilizadores (Neto & Portelinha, 2016).

Dado lo anterior, algo similar ocurre con el uso de geo-sintéticos para la estabilización de taludes y construcción de vías, más exactamente, las terciarias, ¿pero por qué las vías terciarias siendo que éstas no van pavimentadas? Pues bueno, quizás ahí es donde está la clave del empleo de polímeros sobre este tipo de vías, ya que, al no contar con pavimento, toda su estructura se compone por materiales crudos o granulares, expuestos constantemente ante los efectos atmosféricos como las lluvias, el viento, los cambios de temperatura y el choque térmico entre los rayos del sol y la humedad natural del terreno proveniente del subsuelo. Este tipo de características producen daños constantes, como erosión, deformaciones, pérdidas de sección, entre otros perjuicios en términos estructurales, por lo cual, en este tipo de vías sin capa de rodadura, bien sea pavimento rígido o flexible, este aspecto es suficiente para pensar en un mejoramiento de las mismas a través de sistemas tecnológicos, aquellos que permitan aumentar la calidad de éstas a través del tiempo sin cambiar su condición de vía no pavimentada y, a su vez, se puedan tratar con menor cantidad de materiales extraídos de los recursos naturales, situación que produce beneficios ambientales y económicos, reflejándose todo aquello en las cuantías económicas, con valores de economía hasta del 40% sobre los costos totales de ejecución. Dándole viabilidad a esta iniciativa, muy ajustable a las condiciones topográficas y viales del país, se

alcanzarían logros a gran escala, incluso, sin tener necesidad de pavimentar las vías terciarias y cambiando un poco la tendencia de usar geo-sintéticos sólo para obras de drenajes (Díaz, S.F).

El empleo de geo-sintéticos a base de materiales poliméricos en Colombia se debe contemplar como una alternativa muy viable, así como el neumático picado y el plástico, puesto que, las condiciones atmosféricas lo permiten, a diferencia de otras regiones en el mundo donde las condiciones climatológicas conllevan a emplear otro tipo de estabilizantes. Sin ir muy lejos, siendo que son muchos los países en los cuales el hielo y/o la nieve son parte de sus condiciones atmosféricas, en Chile se han tenido que poner a prueba diversos procesos para estabilización de sus carreteras no pavimentadas, aquellas que permiten el transporte en la zona montañosa, situación esencial para la economía, impulsada, en gran proporción, por las empresas mineras que operan sobre la parte alta y que deben transitar por la cordillera de los Andes, región donde las vías aparte de no ser pavimentadas, mantienen expuestas al impacto climatológico que actúa durante todo el año, con variaciones que producen hielo en temporadas de invierno, como erosión y pérdida de fracción gruesa durante los tiempos de clima templado; en vista de tal fenómeno atmosférico, la Ingeniería chilena a puesto a prueba el cloruro de calcio (CaCl₂), cloruro de magnesio (MgCl₂), cloruro de sodio (NaCl), polímeros y agentes enzimáticos, de los cuales, el que mejor comportamiento tuvo, fue el cloruro de sodio (NaCl), ya que en temporadas frías disminuye el congelamiento del agua a 21°C con la acción de la sal, genera una corrosión y potencial de lavado moderados y en períodos secos disminuye en gran medida la emisión de polvo producido por las partículas finas secas, mientras que los polímeros y

los agentes enzimáticos, presentan carencia de rigidez en la superficie y período de curado considerable, respectivamente (Pradena, Mery, & Novoa, 2010).

A pesar de la eficiencia del cloruro de sodio (NaCl) como estabilizador de suelos en zonas de hielo-nieve, también se debe tener en cuenta su poder corrosivo, que, si bien es cierto que es moderado, su uso desmedido produce efectos negativos para el medio ambiente, situación que ratifica aún más, las mezclas poliméricas procedentes de residuos sólidos, aquellas que no requieran un proceso de industrialización que siga generando impactos negativos para los diversos ecosistemas. Aun así, siendo sales con diferente composición atómica y de alto grado de solubilidad, seguramente habrá quienes justifiquen el empleo de cloruro de calcio (CaCl_2), ya que este estabilizador tiene la capacidad de aumentar el CBR hasta un 64,52%, valor considerable sobre suelos arenosos y gravosos, evitando el desprendimiento de finos y la emisión de polvo, el cual atenta directamente contra el medio ambiente y, por ende, contra la salud (Chavarry-Vallejos, Figueroa-Merino, & Reynaga-Tejada, 2020)

Ciertamente se tiene el objetivo de mejorar el desempeño de las vías a nivel mundial, pero esto no significa que por tal motivo se vaya a priorizar el desarrollo vial por encima del manejo ambiental. La Ingeniería debe garantizar procesos y sistemas constructivos que generen un desarrollo sostenible en las naciones, aquellos que aporten al cuidado del medio ambiente y, a su vez, continúen al paso de la innovación. Ésta observación se saca a colación debido a que, si de fomentar el uso de polímeros se trata, también se podría hablar de estabilizadores a base de tanino, aquellos que conforman una resina que proporciona alta resistencia para los suelos, pero he aquí la incertidumbre que deja este tipo de resinas si de buenas prácticas hablamos, ya que el tanino se encuentra en los tejidos vegetales, donde el

quebracho hace parte de los árboles con más contenido, situación que pone a prueba la conciencia del hombre, pues no tiene sentido estabilizar suelos a costa de más deforestación, situación que puede llegar a suceder con un empleo masivo de este tipo de estabilizadores; en Argentina se analizaron pruebas a base de vínculos entre tanino, formol y agua, arrojando resultados óptimos para los intereses de la Ingeniería de vías, ya que a base de esta resina se logró llegar a índices altos de resistencia sobre suelos y, a pesar de que la resina que más aceptación tuvo fue la que menos requirió de tanino, con un aporte sólo del 10%, no deja de ser una práctica perjudicial para el medio ambiente (Fabre, Bizzotto, & Tirner, 2010).

Similar al caso anterior, en Argentina, se han hecho otras pruebas empleando nanotecnología, la cual requiere de nano-partículas, con las cuales se busca aumentar las prestaciones de los suelos, en especial, a los que albergan vías no pavimentadas. Pese a que esta nanotecnología requiere de cantidades de hierro en mínimas fracciones, ésta técnica de polimerización muestra un panorama más amigable con el medio ambiente, debido a un menor uso de los compuestos de la estabilización convencional, tales como el agregado de cantera y el cemento, el cual se vincula homogéneamente con el nano-hierro cerivalente; la influencia de este compuesto sobre el suelo, genera mejor sellado del mismo, así como el incremento de impermeabilidad y cohesión molecular, fenómenos que aportan en gran medida a la calidad del suelo (López & Tobías, 2013).

3. Capas de rodadura para pavimentos a base de polímeros

La construcción de pavimentos a base de polímeros ha tenido gran aceptación por parte de la industria a nivel internacional, un ejemplo claro corresponde a los pavimentos con agregados de plástico, generando así, un cemento asfáltico a partir de unidades poliméricas homogéneas y libres de agua, las cuales se lograron después de triturar desechos y/o residuos sólidos plásticos, con tamaños oscilatorios entre 2,5 y 4,36 mm. Esta aleación entre desechos plásticos y agregados de origen pétreo, forman una capa de rodadura correspondiente a pavimento flexible tratado con polímeros, consolidando así, la aceptación por parte de la ASTM de gran variedad de polímeros para la construcción de vías, tanto elastómeros, los cuales constan de caucho de estireno, como de tipo polietilentereftalato, también conocidos como tipo PET y formados por residuos de botellas plásticas (Murcia & Pinzón, 2020).

Este tipo de diseños a base de materiales poliméricos provenientes de desechos plásticos y partículas de caucho con su vida útil cumplida, podrían representar una gran alternativa para la construcción de vías en Colombia, de este modo se les daría utilidad a los residuos sólidos nombrados, reduciendo así, las cargas que a diario se producen. Así mismo, los costos de ejecución tendrían una reducción considerable, pues no se puede comparar el valor comercial de residuos sólidos como el plástico y el caucho, con agregados y/o ligantes industriales empleados para la construcción de vías.

De igual modo, no solo debemos centrar la óptica en el aspecto económico, sino también, en el aspecto ambiental. Un ejemplo claro lo tenemos en los neumáticos, material

con presencia constante en nuestro entorno y de gran utilidad, tanto para el parque automotor, como para diversos materiales que requieren de la presencia de caucho de estireno, situación que genera una dependencia considerable y una relación constante entre este material y las necesidades del hombre, qué, aunque trae muchos beneficios en materia de utilidad para diferentes fines y/o materiales en el mercado, a su vez obliga al hombre a reinventarse y buscar alternativas que le permitan darle un uso al caucho después de cumplir su objetivo industrial y evitar el mal manejo de estos en los diversos depósitos o lugares inadecuados, sean llantas o determinado tipo de elemento. Un neumático es un elemento que requiere de un proceso industrial complejo, pues para su producción es necesario emplear materias primas de fuentes no renovables, entre los cuales encontramos el caucho sintético, acero para su alambrado, agua, entre otras adiciones a base de resinas, proceso industrial que se ejecuta a altas temperaturas y consumos altos de energía, factores negativos para los intereses de los órganos ambientales debido a la gran cantidad de emisiones gaseosas, situación que obliga a tomar medidas preventivas de alto costo (Sánchez Juan, 2012). Coincidente con la idea de aprovechar los residuos como caucho picado, producto del alto consumo del parque automotor, en la ciudad de Bogotá se han venido adelantando estudios experimentales desde el año 2001 con llantas en mal estado, logrando resultados óptimos a la hora de diseñar pavimentos asfálticos con la inclusión de estas. Para los diseños y todo el proceso experimental, el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) contrató los servicios de la Universidad de los Andes, como también las plantas de Barrancabermeja y Apiay, todo aquello con el objetivo de contar con un proceso de alta calidad, el cual permitiera obtener resultados óptimos y el suficiente aporte técnico para desarrollar mezclas homogéneas que permitieran la inclusión del caucho picado en diferentes estados y temperatura, pues las pruebas se realizaron teniendo en cuenta asfalto

modificado con polímeros de tipo SBS y SBR, así como el asfalto objeto de estudio a base de caucho picado, tanto por vía seca como por vía húmeda. Los resultados de este estudio fueron tan positivos, que se logró consolidar el diseño de una mezcla asfáltica en caliente con asfaltos modificados con caucho por vía húmeda, logro que dio paso a la resolución 6981 del 27 de diciembre de 2011, la cual exige el uso de por lo menos el 5% de metros cuadrados por cada contrato de obra que se celebre en la ciudad de Bogotá para la ejecución de procesos constructivos sobre la malla vial (Martinez, et al, 2018)

El aprovechamiento de los residuos sólidos en ciudades como Bogotá, genera grandes avances tecnológicos y ambientales, pues son éstas las llamadas a marcar la pauta de buenas prácticas y de ese modo dar ejemplo para las demás regiones. La contaminación que generan estas grandes ciudades se debe contrarrestar con la implementación de buenas prácticas, las cuales brinden un equilibrio sistemático a beneficio del medio ambiente. El empleo de polímeros para el diseño de pavimentos asfálticos aporta grandes beneficios a la infraestructura vial, de tal modo que, a pesar del comportamiento escéptico que se tenía en Ecuador, la ocurrencia de daños constantes en la malla vial obligó a la evaluación de nuevos métodos de diseño y aplicación de materiales poliméricos para el mejoramiento de su infraestructura; tal y como se dio en la Capital de Colombia, pusieron a prueba diferentes diseños de mezcla asfáltica con contenidos de SBS, Elvaloy y caucho de llantas, tres tipos de polímeros que finalmente dieron resultados satisfactorios para la construcción de carreteras. Los diseños se llevaron a cabo teniendo en cuenta la normas ASTM, mediante el método SUPERPAVE y haciendo uso de diagramas de Black que determinarían el comportamiento reológico del asfalto; posterior a ello, se efectuaron los diseños y se realizó un comparativo con el asfalto convencional procedente de la planta las Esmeraldas, de lo

cual se identificó un mejor desempeño del intervenido a base de los diferentes agentes poliméricos y, aunque no llenó las expectativas por completo, si se concluyó que las mezclas polimerizadas actúan mejor ante las deformaciones plásticas, donde el que mejor se comportó, fue el de tipo SBS, seguido del caucho picado, situación que ratifica aún más, que la polimerización a base de residuos de caucho, es la mejor alternativa para la construcción de pavimentos, pues aunque en el presente caso no fue el que llenó las expectativas por completo, si aportó al mejoramiento del diseño, lo cual indica que con más estudios y técnicas de empleo, Ecuador puede llegar a suplir la necesidad que tiene respecto a la deficiencia de los pavimentos flexibles y, así mismo, reducir el impacto ambiental mediante el empleo de caucho picado, lo cual no se da con el empleo de SBS (estireno-butadieno-estireno), ya que éste generaría más procesos industriales para su fabricación (Romaní & Briceño, 2018).

Se enfatiza la continuidad de los estudios en el Ecuador debido a la gran utilidad que ha mostrado el caucho y los plásticos como agentes poliméricos, dado que éstos poseen características que permiten su buen desempeño dentro de las mezclas bituminosas, las cuales, corresponden a baja polaridad, peso molecular y baja temperatura vítrea, comportamientos necesarios para mejorar las propiedades de los asfaltos (Palma, Cisneros, Belmonte, & Facio, 2016). Este tipo de polímeros se pueden tener en cuenta tanto para la consolidación de las capas de soporte, como para la capa de rodadura, lo cual generaría un alto consumo de estos para la construcción de vías y de ese modo se van eliminando de manera sustancial esta clase de residuos. La presencia de polímeros en el asfalto no solo aporta a la resistencia estructural, sino también, a sus propiedades reológicas, las cuales actúan en función de los componentes de la mezcla entre asfalto-agregado, evitando el

ahuellamiento, controlando la fatiga producida por el tráfico y la susceptibilidad térmica; estos tres aspectos son determinantes al momento de evaluar las condiciones de una capa asfáltica, por lo cual, es necesario tener en cuenta el efecto de viscosidad-temperatura, bajo condiciones de granulometría controlada y sin ella (Cárdenas & Fonseca, 2009)

Conclusión

Evaluada diversas metodologías y procesos experimentales, se evidencia la gran demanda que hoy por hoy tienen los polímeros para la construcción de vías y estabilización de suelos a nivel mundial, teniendo en cuenta el desempeño de estos, incluso, empleados desde las capas de soporte para la construcción de un pavimento. En Colombia, si bien es cierto que se han adelantado estudios y el empleo de estos en algunas regiones del país, como el caso de Bogotá, proyecto impulsado por el IDU, también es evidente que aún no se pone a prueba de manera constante el proceso de construcción de vías a base de materiales poliméricos, y más que todo, de los compuestos por plástico y llanta picada, dos materiales bastante contaminantes, pero, a su vez, con una utilidad sustancial a la hora de incluirlos en el diseño de pavimentos, teniendo en cuenta también, que para la estabilización de terrenos también aplica la utilización de polímeros, solo que para este tipo de procesos, se emplean más los geo-sintéticos, donde quizás no se ve de manera principal el empleo de residuos como el plástico y la llanta picada, pero que también generan un gran aporte a la infraestructura vial y el componente ambiental.

Aunque Colombia aceleró su desarrollo en infraestructura vial durante las últimas dos décadas, aún requiere de la implementación de sistemas constructivos que le permitan explotar las alternativas en materia de elementos poliméricos, por ello, en el presente escrito se sustentó el buen desempeño de los polímeros a base de plástico y llanta picada, los cuales traen consigo efectos que, aparte de ser eficientes en materia estructural, aportan de manera sustancial al cuidado del medio ambiente, objetivo primordial para un desarrollo sostenible, y no solo del país, sino del planeta entero; dado lo anterior, debido su gran utilidad y reducción de índices de contaminación, se identifica que, para Colombia, la adición polimérica más adecuada, corresponde a los conformados por plástico y llanta picada, aquellos que, su mala disposición final, aumenta la emisión de gases generadores del efecto invernadero, impacto que se puede mitigar con la construcción de carreteras a base de polímeros; hay quienes dirán que el desarrollo vial va por buen camino, lo cual, analizándolo desde el aspecto económico, nos refleja un panorama totalmente distinto, ya que en Colombia se ha vuelto muy usual las vías concesionadas, aquellas que no requieren de recursos propios, sino de privados, quienes, haciendo uso de sus facultades, quedan con la potestad de las vías mediante peajes que incrementan el costo de viaje para todos los usuarios. Es por esto que el empleo de polímeros de bajo costo, como los reciclados, ofrecen un sinnúmero de beneficios para la Ingeniería colombiana, solo es cuestión de darle continuidad a los estudios hechos y de ese modo dar un gran paso con miras a un sostenimiento ambiental.

Bibliografía

- Alarcón, J., Jiménez, M., & Benítez, R. (2020). Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. *Ingeniería de construcción*, 5-20.
- Cárdenas, J., & Fonseca, E. (2009). MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE ASFALTO CONVENCIONAL Y MODIFICADO CON POLÍMERO RECICLADO, ESTUDIADA DESDE LA RELACIÓN VISCOSIDAD-TEMPERATURA. *EIA*, 125-137.
- Chavarry-Vallejos, C. M., Figueroa-Merino, R. A., & Reynaga-Tejada, R. E. (2020). Estabilización química de capas granulares con cloruro de calcio para vías no pavimentadas. *Polo del Conocimiento*, 41-69.
- Díaz, J. R. (S.F). Innovación con geosintéticos en el manejo de suelos . *INDAGARE*, 1-2.
- Fabre, V. E., Bizzotto, M. B., & Tirner, J. C. (2010). Comportamiento Resistente de Suelos Orgánicos estabilizados con tanino. *Scielo*, 103-112.
- Flores, F. G., & Isac, J. (2012). Introducción a la química de los polímeros biodegradables: una experiencia para alumnos de segundo ciclo de la ESO y bachillerato. *Real Sociedad Española de química*, 38-44.
- Guerrero, N. H., & Albitres, C. M. (2010). LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL PERÚ. *Perfiles de Ingeniería*.
- Hanley, H. J., Masad, E. A., Iyengar, S. R., Rodríguez, A. K., & Bazzi, H. S. (2016). Aglutinantes de subrasante de suelo de copolímero.
- Liñán, S. G. (30 de Octubre de 2018). Polímeros y plásticos II. *El Financiero*, págs. 1-2.
- López, G. D., & Tobías, H. (2013). *NANOTECNOLOGIA APLICADA A LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS: DESEMPEÑO TÉCNICO*. Santa Fe.
- López-Lara, T., Hernández-Zaragoza, J. B., Horta-Rangel, J., Marquez, A. C., & Castaño-Meneses, V. M. (2010). POLÍMEROS PARA LA ESTABILIZACIÓN VOLUMÉTRICA DE ARCILLAS EXPANSIVAS. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 159-168.
- Martinez, G., Caicedo, B., González, D., Celis, L., Fuentes, L., & Torres, V. (2018). Trece años de continuo desarrollo con mezclas asfálticas modificadas con Grano de Caucho Reciclado en Bogotá: Logrando sostenibilidad en pavimentos. *Ingeniería de Construcción*, 41-50.
- Murcia, G. E., & Pinzón, R. S. (18 de Septiembre de 2020). *FACTIBILIDAD DE DESARROLLAR PAVIMENTOS*. Obtenido de <file:///C:/Users/MI%20PC/Documents/Trabajo%20de%20grado%20Oscar%20Villota/Cons>

olidado%20art%C3%ADculos%20Pdf/16_853-Texto%20-%20resumen%20de%20ponencia-1675-1-10-20200823.pdf

- Neto, J. O., & Portelinha, F. H. (2016). Aspectos generales sobre el uso de geosintéticos en muros y taludes reforzados. *Cobramseg*.
- Palma, C. V., Cisneros, J. C., Belmonte, F. Á., & Facio, A. C. (2016). Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos. *Afinidad LXXIII*, 119-124.
- Pradena, M., Mery, J.-P., & Novoa, É. (2010). Estabilización y mantenimiento de caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo-nieve en zona de montaña. *Scielo*, 97-107.
- Rodríguez, E. J., & Gonzalez, E. A. (2018). Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas de materiales de subrasante por la adición de materiales poliméricos reciclados. *Ingeniería solidaria*.
- Romaní, R. V., & Briceño, J. G. (2018). Lasallista de investigación. *INCIDENCIA DEL EMPLEO DE POLÍMEROS COMO MODIFICADORES DEL ASFALTO*, 315-326.
- Sánchez Juan, R. (2012). Segunda vida de los neumáticos usados. *Química Viva*, 24-39.
- Shelke, A. P., & Murty, D. S. (2011). PRESIONES DE HINCHAMIENTO DE SUELOS EXPANSIVOS ESTABILIZADOS UTILIZANDO EPS GEOFOAM. *AConferencia Geotécnica de la India*, (págs. 417-420). Kochi.
- Solano, H. G., Sepúlveda, D. F., & Aranguren, L. M. (2014). Experimentación de materiales, un camino para la sustentabilidad en el diseño. *Investigación, desarrollo e innovación*, 87-94.